

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. April 2002 (25.04.2002)

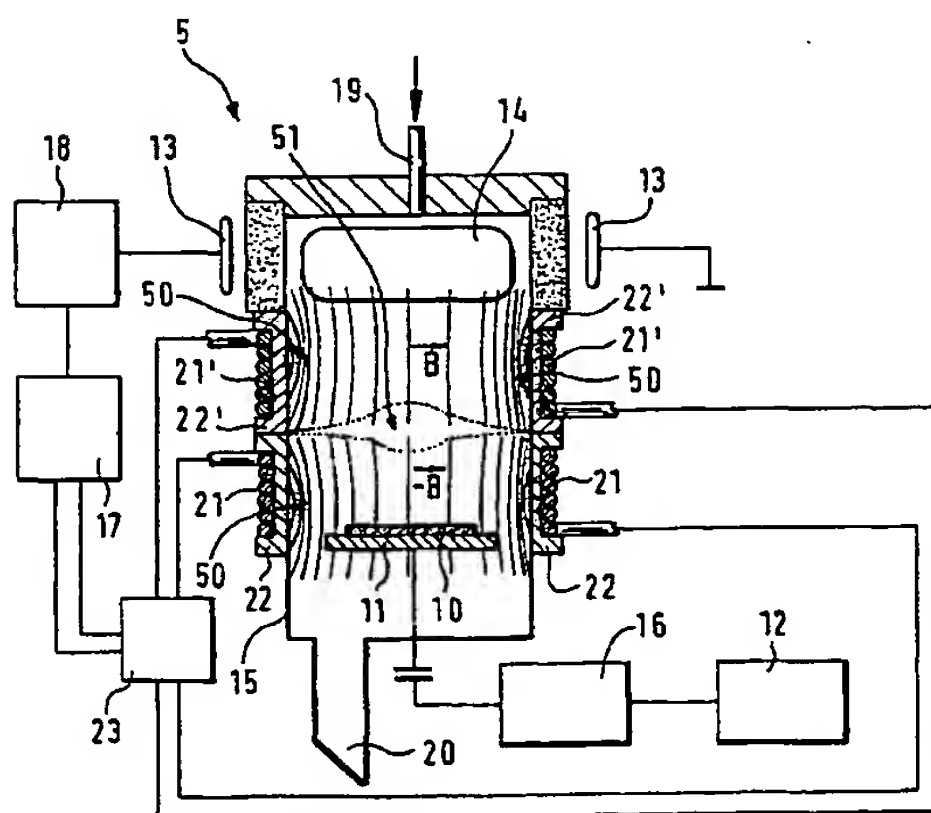
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/33728 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01J 37/32**, (72) Erfinder: **BREITSCHWERDT, Franz**; Wilhelm-Hauff-Strasse 15, 70794 Filderstadt (DE).  
H01L 21/3065 **BECKER, Volker**; Im Wiesele 7, 76359 Marxzell (DE). **LAERMER, Franz**; Hermann-Schütz-Strasse 22, 71263 Weil der Stadt (DE). **SCHILP, Andrea**; Othellostrasse 15, 70563 Stuttgart (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/01031
- (22) Internationales Anmeldedatum: 17. März 2001 (17.03.2001) (81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, KR.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 51 831.1 19. Oktober 2000 (19.10.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE ETCHING OF A SUBSTRATE BY MEANS OF AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ÄTZEN EINES SUBSTRATES MITTELS EINES INDUKTIV GEKOPPELTEN PLASMAS



(57) Abstract: A device (5) and a method performed with said device (5), for the etching of a substrate (10), in particular a silicon body, by means of an inductively coupled plasma (14) is disclosed, whereby a high-frequency electromagnetic alternating field is generated, by means of an ICP source (13). An inductively coupled plasma (14) is generated in a reactor (15), by means of the effect of the high-frequency electromagnetic alternating field on a reactive gas. A static magnetic field, or one that varies with time, is generated between the substrate (10) and the ICP source (13), whereby at least two magnetic field coils (21, 21'), arranged one over the other, are provided. The direction of the magnetic field thus produced is approximately parallel to the direction defined by the line connecting the substrate (10) and the inductively coupled plasma (14). Furthermore, a first partial magnetic field (B) is generated by a first magnetic field coil (21') and a second magnetic field (-B), in particular a field with the same partial magnetic field strength in an equivalent location is generated, which are in opposed directions.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/33728 A1



---

**(57) Zusammenfassung:** Es wird eine Vorrichtung (5) und ein mit dieser Vorrichtung (5) betriebenes Verfahren zum Ätzen eines Substrates (10), insbesondere eines Siliziumkörpers, mittels eines induktiv gekoppelten Plasmas (14) vorgeschlagen, wobei mit einer ICP-Quelle (13) ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld generiert wird, das in einem Reaktor (15) ein induktiv gekoppeltes Plasma (14) aus reaktiven Teilchen durch Einwirken des hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes auf ein Reaktivgas erzeugt. Weiterhin ist vorgesehen, dass zwischen dem Substrat (10) und der ICP-Quelle (13) ein statisches oder zeitlich variierendes Magnetfeld erzeugt wird, wozu mindestens zwei, übereinander angeordnete Magnetfeldspulen (21, 21') vorgesehen sind. Die Richtung des so erzeugten Magnetfeldes ist zudem näherungsweise parallel zu der durch die Verbindungslinie von Substrat (10) und induktiv gekoppeltem Plasma (14) definierten Richtung. Schließlich ist vorgesehen, dass mit einer ersten Magnetfeldspule (21') ein erstes Teilmagnetfeld (B) und mit einer zweiten Magnetfeldspule (21) ein zweites, insbesondere an einem äquivalenten Ort gleich starkes Teilmagnetfeld (-B) erzeugt wird, die einander entgegen gerichtet sind.

5

Vorrichtung und Verfahren zum Ätzen eines Substrates mittels  
eines induktiv gekoppelten Plasmas

10

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren  
zum Ätzen eines Substrates mittels eines induktiv gekoppel-  
ten Plasmas.

Stand der Technik

15

20

25

In der Anmeldung DE 199 33 841 A1 ist eine Vorrichtung und  
ein Verfahren zum Ätzen eines Substrates mittels eines in-  
duktiv gekoppelten Plasmas (ICP) beschrieben, wobei der ein-  
gesetzte Reaktor bereichsweise mit einer Magnetfeldspule um-  
geben ist, mit der in dem Reaktor ein statisches oder zeit-  
lich variierende Magnetfeld erzeugbar ist. Weiter ist daraus  
bekannt, bei einem mit dieser Vorrichtung durchgeführten  
Ätzverfahren ein Magnetfeld zu erzeugen, dessen Richtung zu-  
mindest näherungsweise oder überwiegend parallel zu einer  
von der Verbindungslinie von Substrat und induktiv gekoppel-  
tem Plasma definierten Richtung ist.

30

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war, ausgehend von DE 199  
33 841 A1, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustel-  
len, mit dem höhere Ätzraten und weiter verbesserte Ätzpro-  
file erreichbar sind.

Vorteile der Erfindung

35

Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße  
Verfahren zum Ätzen eines Substrates haben gegenüber dem

Stand der Technik den Vorteil, dass damit bei anisotropen Ätzverfahren für Silizium, wie sie beispielsweise in DE 42 41 045 C2 bzw. DE 197 06 682 C2 patentiert sind, deutlich erhöhte Ätzraten bei gleichbleibender bzw. verbesserter Qualität des Ätzergebnisses, insbesondere hinsichtlich des Gan-  
5 ges der erzielten Profilform über der Substratoberfläche, erreichbar sind.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus  
10 den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So hat die Verwendung von mindestens zwei, vorzugsweise genau zwei oder einer geraden Anzahl von übereinander angeordneten Magnetfeldspulen, die bevorzugt von paarweise einander  
15 entgegen gerichteten elektrischen Strömen durchflossen sind, den Vorteil, dass die Fernwirkungen der jeweils erzeugten Teilmagnetfelder reduziert sind, und dass ein geringeres resultierendes Magnetfeld am Ort der induktiven Plasmaerzeugung und am Ort des Substrates als im Fall lediglich einer  
20 Magnetfeldspule vorliegt. Zudem ist es auf diese Weise gleichzeitig vorteilhaft möglich, die das Plasma einschließenden Teilmagnetfelder und damit auch das resultierende Gesamtmagnetfeld im Bereich der Reaktorwand größer einzustellen als bisher.

Insbesondere werden durch die von einem paarweise entgegengesetzt gerichteten elektrischen Strom durchflossenen Magnetfeldspulen entgegengesetzt gerichtete Teilmagnetfelder erzeugt, was dazu führt, dass in einer Umgebung der Wicklungen der Magnetfeldspulen im Reaktorinneren, d.h. in einer  
30 Umgebung der Reaktorwand, die resultierende magnetische Feldstärke groß und von den benachbarten Spulen fast unbeeinflusst ist, während sich die von den einzelnen Magnetfeldspulen erzeugten Teilmagnetfelder im Inneren bzw. Zentrum des Reaktors, insbesondere im Bereich der Spulenmitten,  
35

teilweise aufheben so dass das dort vorliegende resultierende Magnetfeld gegenüber lediglich einer Magnetfeldspule deutlich reduziert ist. Darüber hinaus bewirkt die Anordnung derart paarweise gegensinnig durchströmter Magnetfeldspulen vorteilhaft auch die Modifikation einer magnetischen Linsenwirkung und das Entstehen einer nahezu feldfreien Driftzone im Inneren des Reaktors zwischen den jeweils aufeinanderfolgenden Magnetfeldspulen bzw. in einer Umgebung der Verbindungsebene benachbarter Magnetfeldspulen, so dass Inhomogenitäten aus dem Bereich der Plasmaquelle nicht unmittelbar auf das Substrat abgebildet werden. Vielmehr wird durch die modifizierte Linsenwirkung des/der Spulenpaare sogar erreicht, dass der Energieeintrag aus dem Plasma über der Oberfläche des Substrates homogenisiert wird bzw. in der Substratmitte ein gegenüber dem Substratrand erhöhter Energieeintrag eingestellt werden kann.

Weiter ist auch vorteilhaft, dass durch die Verwendung von mindestens zwei Magnetspulen das am Ort des zu ätzenden Substrates herrschende Magnetfeld deutlich verringert, oder die Magnetfeldstärke in dem das Substrat umgebenden Randbereich des Reaktorinneren ohne Störeffekte gesteigert werden kann.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung von mindestens zwei, insbesondere gegensinnig mit Strom beaufschlagten Magnetfeldspulen gelingt es somit, die vorteilhaften Wirkungen eines Magnetfeldes hinsichtlich einer effizienteren Plasmaanregung mit den Vorteilen zu verbinden, die sich dadurch ergeben, dass am Ort der Plasmaerzeugung und/oder am Ort des zu ätzenden Substrates gegenüber der Reaktorwand bzw. den Randbereichen ein geringeres und gleichzeitig homogeneres Magnetfeld vorherrscht, als im Fall lediglich einer Magnetfeldspule. Ferner steht mittels der gegensinnig durchströmten Magnetspulen eine über den Spulenstrom kontinuierlich einstellbare Vorrichtung zur Verfügung, mit der der Energie-

eintrag aus dem Plasma in die Waferoberfläche homogenisiert bzw. sogar „invertiert“ werden kann, d.h. es ist nunmehr auch eine Fokussierung des Energieeintrags von Randbereichen des Wafers in die Wafermitte erzielbar.

5

Vorteilhaft ist weiterhin, wenn eine gerade Anzahl von Magnetfeldspulen eingesetzt wird, die abwechselnd mit alternierender Stromrichtung beaufschlagt werden, so dass sich die Richtungen der von den Magnetfeldspulen jeweils erzeugten Teilmagnetfelder von einer Spule zur darauffolgenden ändern. Insgesamt ergibt sich durch die erfindungsgemäße Anordnung der Magnetfeldspulen zunächst eine Konzentration des Magnetfeldes auf den Wandbereich des Reaktorinneren bzw. die Innenwand der Distanzstücke, den Bereich des Substrates und den Bereich der induktiv gekoppelten Plasmaquelle.

15

Da es weiterhin hinsichtlich der Steigerung der Plasmaeffizienz und damit der erreichbaren Ätzzraten ein Optimum der resultierenden Magnetfeldstärke im Inneren des Reaktors, insbesondere im Zentrum der Magnetfeldspulen gibt, das im Einzelfall zu ermitteln ist und im Bereich einiger mTesla liegt, wird es durch die erfindungsgemäße Anordnung mindestens zweier Magnetfeldspulen nunmehr möglich, die resultierende Magnetfeldstärke im Inneren des Reaktors, insbesondere in der Driftzone, daraufhin optimal abzustimmen, und gleichzeitig auch die resultierende Magnetfeldstärke im Bereich der Reaktorwand möglichst hoch zu halten, um eine hohe Ladungsträgerreflexion bzw. einen guten magnetischen Plasmaeinschluss sicherzustellen.

20

25

30

35

Dies beruht darauf, dass durch die Erzeugung einander entgegen gerichteter, vorzugsweise an äquivalenten oder einander entsprechenden Orten hinsichtlich der Amplitude gleich starker Teilmagnetfelder der verschiedenen Magnetfeldspulen erreicht wird, dass das resultierende Magnetfeld bei einer An-

ordnung von zwei Spulen gegenüber lediglich einer Spule abnimmt und auf der Symmetrieebene zwischen den Spulen sogar verschwindet, d.h. es entsteht zwischen den beiden Magnetfeldspulen ein nahezu feldfreier Innenraumbereich bzw. eine Driftzone, über die sich das erzeugte Plasma nahezu ungestört ausbreiten kann, und dass gleichzeitig in der Umgebung der Reaktorwand die resultierende magnetische Feldstärke relativ groß bleibt, so dass dieses dort nach Art einer magnetischen Flasche Elektronen- und Ionenverluste wirksam verhindert.

Die resultierende magnetische Feldstärke im Inneren der Spulen wird auf diese Weise weiter reduziert, und zwar umso stärker, je näher man sich der Symmetrieebene zwischen den beispielsweise zwei Magnetfeldspulen annähert. Andererseits nimmt die resultierende Magnetfeldstärke in einigem Abstand von den einzelnen Magnetfeldspulen rasch ab, d.h. das Magnetfeld wird auf die einander abgewandten Öffnungen der Spulen und auf die Wände des Reaktors konzentriert, was zu der erläuterten magnetischen Flasche mit Feldkonzentration am Rand und gleichmäßigem Plasmapotentialverlauf im Inneren ohne Inhomogenitäten oder Störungen durch Wandwechselwirkungen führt. Somit ist das resultierende Magnetfeld vor allem in der Umgebung der Austrittsöffnungen der Magnetfeldspulen, insbesondere der dem erzeugten Plasma zugewandten Austrittsöffnung der obersten Magnetfeldspule, noch ausreichend stark, um eine deutlich effizientere Plasmaanregung als ohne Magnetfeld zu leisten. Schließlich beseitigt die Anordnung von mehreren Magnetfeldspulen die bereits erwähnte, unerwünschte magnetische Linsenwirkung hinsichtlich der Abbildung von Plasmainhomogenitäten auf das Substrat, und führt statt dessen eine erwünschte Homogenisierung bzw. Fokussierung des über den Spulenstrom kontinuierlich einstellbaren Energieeintrags auf die Wafermitte herbei, was zu einem uniformeren Gesamtätzbild führt.



Darüber hinaus wird durch die mindestens zwei übereinander angeordneten Magnetfeldspulen, insbesondere wenn diese paarweise von einem gleich großen, jedoch gegensinnig fließenden elektrischen Strom durchflossen sind und/oder jeweils zwei benachbarte Magnetfeldspulen ein erstes Teilmagnetfeld  $\vec{B}$  und ein zweites, insbesondere hinsichtlich der Amplitude der Feldstärke an einem äquivalenten Ort gleich starkes, jedoch dem ersten Teilmagnetfeld  $\vec{B}$  entgegen gerichtetes Teilmagnetfeld  $-\vec{B}$  erzeugen, vorteilhaft ermöglicht, einen ansonsten bei Plasmaätzenanlagen mit einer ICP-Quelle und einem darunter angeordneten Substrat bzw. Wafer auftretenden anwachsenden Energieeintrag von der Wafermitte zu dem Wafer-  
rand zu vermeiden bzw. einen weitestgehend homogenen Energieeintrag über die gesamte Waferoberfläche einzustellen.

Dieser Energieeintrag setzt sich dabei zusammen aus dem Produkt von Ionenenergie und lokalem Ionenfluss, wobei vor allem die Energie der Ionen wesentlich durch das lokale Plasmapotential beeinflussbar ist. Bei bekannten Plasmaätzenanlagen wächst das lokale Plasmapotential von der Mitte des Wafers zu dessen Rand hin typischerweise in einem Ausmaß von bis zu einigen 10 Volt an, was die Uniformität der Ätzratenverteilung und vor allem der Profilverteilung über die Oberfläche des Substrates erheblich verschlechtert.

Ein bekannter Ansatz zur Lösung dieses Problems ist die in DE 197 34 278 C1 vorgeschlagene Aperturkonstruktion, die vor allem den Ionenfluss und dessen Verteilung von Wafermitte zum Waferrand beeinflusst. Auf Profilstörungen, die ursächlich mit der einfallenden Ionenenergie zusammenhängen, hat eine solche Aperturkonstruktion jedoch wenig Einfluss. Zudem sind Aperturen mechanisch hergestellte Teile, bei denen Änderungen der Apertureigenschaften nur durch eine irreversib-



le mechanische Bearbeitung herbeigeführt werden können, was sie unflexibel macht.

Demgegenüber wird durch die erfindungsgemäße Anordnung von  
5 Magnetfeldspulen und die Erzeugung der von diesen wie erläutert gerichteten Teilmagnetfelder aufeinander abgestimmter Amplitude nicht nur der Ionenfluss sondern wesentlich auch das Plasmapotential, d.h. die räumliche Variation des Plasmapotentials über der Oberfläche des Substrates beeinflusst.  
10 Auf diese Weise ist somit vorteilhaft der Energieeintrag durch das induktiv gekoppelte Plasma auf dem Substrat kontinuierlich über die spezielle Linsenwirkung der Magnetfeldanordnung von dessen Randbereichen in die Wafermitte hin fokussierbar bzw. von der Mitte zum Rand hin veränderbar.

15 Wird der Plasmaätzprozess beispielsweise gänzlich ohne Magnetfeld ausgeführt, ist der Energieeintrag bei einem üblichen 6"-Wafer an dessen Rand gegenüber der Mitte um ca. 3 % bis 5% überhöht, was zu schlechten Ätzprofilen am Waferrand führt. Werden dagegen die beiden erfindungsgemäß eingesetzten Magnetfeldspulen mit einem gleichen, jedoch entgegengesetzt gerichteten elektrischen Strom von jeweils 12 A beaufschlagt, kehren sich diese Verhältnisse durch ein verändertes Plasmapotential um, d.h. es tritt in der Mitte des Substrates ein um ca. 30 % höherer Energieeintrag auf als am  
20 Rand, was nunmehr dort zu den sonst nur in den Waferrandbereichen auftretenden Profilstörungen wie sogenanntes „beaking“ oder „profile bow“ führt. Benutzt man an Stelle von 12 A einen Spulenstrom von jeweils 6 A, sind die erzeugten Ätzprofile in der Mitte und am Rand des Substrates schon nahezu  
25 identisch. Durch einen Strom von jeweils 4 bis 5 Ampère konnte schließlich ein sehr homogener Energieeintrag über dem gesamten Wafer beobachtet werden, d.h. die erzeugten Ätzprofile sind über der gesamten Waferoberfläche gleich.  
30

Insofern hat man mit der Änderung der Amplituden der von den einzelnen Magnetfeldspulen erzeugten Teilmagnetfelder, die wiederum sehr einfach über die jeweils eingesetzten Ströme einstellbar sind, einen gut beherrschbaren und effektiven Parameter zur Verfügung, um den lokalen Energieeintrag und darüber die Form der erzeugten Ätzprofile über die gesamte Oberfläche des geätzten Substrates zu kontrollieren bzw. zu variieren. Insofern verhält sich die erfindungsgemäße Anordnung der Magnetfeldspulen bei der erfindungsgemäßen Wahl der Teilmagnetfelder wie eine kontinuierlich einstellbare „Aper-  
tur“.

Im Übrigen ist es im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens auch möglich, die mindestens zwei übereinander angeordneten Magnetfeldspulen mit unabhängig voneinander einstellbaren, gegeneinander gerichteten elektrischen Strömen zu beaufschlagen. Auf diese Art kann beispielsweise mittels der oberen, dem Plasma zugewandten Magnetfeldspule ein für die Plasmaerzeugung optimales Spulenfeld erzeugt werden, während mit der unteren, dem Wafer zugewandten Magnetfeldspule ein für die Profil- und Ätzratenuniformität optimales Spulenfeld eingestellt wird.

Bei der Anordnung des zu ätzenden Substrates in dem Reaktor ist vorteilhaft, wenn dieses symmetrisch zwischen den Magnetfeldspulen angeordnet ist, oder, besonders vorteilhaft, wenn sich das Substrat in einem unteren Bereich oder Ausgangsbereich einer beispielsweise zweiten, dem Plasma abgewandten Magnetfeldspule befindet. Dabei wird das Substrat vorteilhaft zwar in dem unteren Bereich oder Ausgangsbereich dieser zweiten Magnetfeldspule angeordnet, jedoch noch innerhalb des von der zweiten Magnetfeldspule definierten, näherungsweise zylinderförmigen Raumes. In diesem Zusammenhang

ist weiter vorteilhaft, wenn sich auch die Substratelektrode noch innerhalb dieses Ausgangsbereiches befindet.

Im Übrigen ist vorteilhaft, dass durch die Anordnung von  
5 mindestens zwei, übereinander angeordneten Magnetfeldspulen mit entgegen gerichteten Magnetfeldern, wobei bevorzugt jedem der Magnetfeldspulen ein Distanzstück zugeordnet ist, das in die Wand des Reaktors eingesetzt ist, die ansonsten  
10 in DE 199 33 841 A1 beschriebenen Vorteile der dortigen Vorrichtung bzw. des dortigen Verfahrens gewahrt werden können bzw. die dort erreichten Ätzergebnisse qualitativ sogar noch deutlich übertroffen werden. Insbesondere lässt sich ohne Weiteres auch mit den mindestens zwei, übereinander angeordneten Magnetfeldspulen ein Ätzverfahren mit zeitlich variierenden, insbesondere periodisch gepulsten Magnetfeldern ge-  
15 mäß DE 199 33 841 A1 durchführen.

#### Zeichnung

20 Die Erfindung wird anhand der Zeichnung und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die Figur 1 zeigt eine schematisierte Plasmaätzanlage.

#### Ausführungsbeispiele

25 Die Erfindung geht zunächst aus von einer Plasmaätzanlage 5 wie sie in ähnlicher Form in DE 199 33 841 A1 bereits beschrieben ist. Im Einzelnen weist die Plasmaätzanlage 5 einen Reaktor 15 auf, in dessen oberem Bereich über eine ICP-  
30 Quelle 13 ein induktiv gekoppeltes Plasma 14 erzeugt wird. Weiterhin ist eine Gaszufuhr 19 zur Zufuhr eines Reaktivgases wie beispielsweise  $\text{SF}_6$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{SiF}_4$  oder  $\text{NF}_3$ , eine Gasabfuhr 20 zur Abfuhr von Reaktionsprodukten, ein Substrat 10, beispielsweise ein mit dem erfindungsgemä-  
35 ßen Ätzverfahren zu strukturierender Siliziumkörper oder Si-

litziumwafer, eine mit dem Substrat 10 in Kontakt befindliche Substratelektrode 11, ein Substratspannungsgenerator 12 und ein erster Impedanztransformator 16 vorgesehen.

5 Der Substratspannungsgenerator 12 koppelt weiter in die Substratelektrode 11 und darüber in das Substrat 10 eine Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung ein, die eine Beschleunigung von in dem induktiv gekoppelten Plasma 14 erzeugten Ionen auf das Substrat 10 bewirkt. Die darüber eingekoppelte Hochfrequenzleistung bzw. Wechselspannung liegt  
10 typischerweise zwischen 3 Watt und 50 Watt bzw. 5 Volt und 100 Volt im Dauerstrichbetrieb bzw. bei gepulstem Betrieb jeweils im Zeitmittel über die Pulssequenz.

15 Weiterhin ist ein ICP-Spulengenerator 17 vorgesehen, der mit einem zweiten Impedanztransformator 18 und darüber mit der ICP-Quelle 13 in Verbindung steht. Somit generiert die ICP-Quelle 13 ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld und darüber in den Reaktor 15 ein induktiv gekoppeltes Plasma 14 aus reaktiven Teilchen und elektrisch geladenen Teilchen (Ionen), die durch Einwirken des hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes auf das Reaktivgas entstanden  
20 sind. Die ICP-Quelle 13 weist dazu eine Spule mit mindestens einer Windung auf, die beispielsweise außen an einem Kessel oder eben auf einer im Weiteren noch zu erläuternde oberste Magnetfeldspule abdeckende dielektrischen Platte platziert ist.  
25

Der zweite Impedanztransformator 18 ist bevorzugt in der in  
30 DE 199 00 179 C1 vorgeschlagenen Weise ausgeführt, so dass eine balancierte, symmetrisch aufgebaute Konfiguration und Speisung der ICP-Quelle 13 über den ICP-Spulengenerator 17 gegeben ist. Damit wird insbesondere gewährleistet, dass die an den beiden Enden der Spule der ICP-Quelle 13 anliegenden  
35 hochfrequenten Wechselspannungen zumindest nahezu gegenpha-

sig gleich zu einander sind. Weiter ist der Mittelabgriff der Spule der ICP-Quelle bevorzugt geerdet.

In der Figur 1 ist weiter vorgesehen, dass zwischen dem induktiv gekoppelten Plasma 14 bzw. der ICP-Quelle 13, d.h. der eigentlichen Plasmaerregungszone, und dem Substrat 10 zwei sogenannte „Spacer“ als erstes Distanzstück 22' und zweites Distanzstück 22 übereinander angeordnet sind. Diese Distanzstücke 22 bzw. 22' sind beispielsweise aus Aluminium ausgeführt und in die Wand des Reaktors 15 als Distanzringe eingesetzt. Sie haben jeweils eine typische Höhe von ca. 5 cm bis 30 cm, vorzugsweise 15 cm, bei einem typischen Durchmesser des Reaktors 15 von 30 cm bis 100 cm. Das erste Distanzstück 22' und das zweite Distanzstück 22 umgibt weiter jeweils eine zugeordnete erste Magnetfeldspule 21' bzw. eine zweite Magnetfeldspule 21, die jeweils 100 bis 500 Windungen aufweisen und aus einem für die einzusetzende Stromstärke ausreichend dick bemessenen Kupferlackdraht gewickelt sind. Zusätzlich können Kupferrohre mit in die Magnetfeldspulen 21 bzw. 21' aufgenommen sein, um durch diese Kupferrohre durchströmendes Kühlwasser Wärmeverluste aus den Magnetfeldspulen 21, 21' abzuführen. Durch die Magnetfeldspulen 21, 21' wird weiter über eine Stromversorgungseinheit 23 jeweils ein elektrischer Strom von beispielsweise 1 bis 100 Ampère, insbesondere 1 A bis 15 A, besonders bevorzugt 3 A bis 10 A, geleitet. Dabei ist der durch die zweite Magnetfeldspule 21 geleitete elektrische Strom dem durch die erste Magnetfeldspule 21' geleiteten elektrischen Strom entgegen gerichtet, so dass im Inneren des Reaktors 15 zwei Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) entstehen, die einander entgegen gerichtet sind. Bevorzugt sind die Strömstärken durch die erste Magnetfeldspule 21' und die zweite Magnetfeldspule 21 weiter so gewählt, dass die Amplituden der Feldstärken der beiden Teilmagnetfelder im Inneren des Reaktors 15 an einander entsprechenden Orten gleich sind. Somit entsteht im In-

neren des Reaktors 15 eine nahezu feldfreie Driftzone 51 des erzeugten Plasmas 14, während in einer Umgebung der Reaktorwand 50 ein relativ hohes Magnetfeld vorliegt.

5 Im einfachsten Fall sind die Ströme durch die Magnetfeldspulen 21, 21' jeweils Gleichströme, die im Inneren des Reaktors 15 ein statisches Magnetfeld erzeugen, das beispielsweise eine magnetische Feldstärke im Zentrum der Magnetfeldspulen 21 bzw. 21' von jeweils etwa 1 mT bis 20 mT erzeugt.

10 Im Übrigen ist vorgesehen, dass das Substrat 10 mit der damit verbundenen Substratelektrode 11 in einem unteren Bereich oder Ausgangsbereich der zweiten, dem Plasma 14 abgewandten Magnetfeldspule 21 angeordnet ist. Dabei ist zu be-  
15 achten, dass sich das Substrat 10 noch innerhalb des von der zweiten Magnetfeldspule 21 definierten Raumes befindet. Alternativ kann das Substrat 10 jedoch auch symmetrisch zwischen den beiden Magnetfeldspulen 21 bzw. 21' angeordnet sein, wo die beiden Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) sich aufgrund  
20 der aneinander entgegengesetzten Richtung weitestgehend aufheben, d.h. das Substrat 10 mit der Substratelektrode 11 befindet sich in der Driftzone 51 bzw. einem nahezu magnetfeldfreien Raum. Im Bereich der Reaktorwand 50, die das Substrat 10 zylindrisch umgibt, sind die vorliegenden Magnet-  
25 felder andererseits auch in dieser Konfiguration noch ausreichend groß, beispielsweise 10 mT bis 20 mT, um eine Plasma-Wand-Wechselwirkung und damit Störungen des Plasmapotentials wirksam zu unterdrücken.

30 Besonders vorteilhaft ist weiter, wenn sowohl das Substrat 10 als auch die damit in Verbindung stehende Substratelektrode 11 derart angeordnet sind, dass sie zumindest in geringem Umfang dem Teilmagnetfeld ( $-\vec{B}'$ ) der zweiten, dem Plasma 14 abgewandten Magnetfeldspule 21 ausgesetzt sind. Im  
35 Übrigen sei betont, dass die von den Magnetfeldspulen 21,

21' erzeugten Magnetfelder zumindest näherungsweise parallel zu der durch die Verbindungslinie von Substrat 10 und induktiv gekoppeltem Plasma 14 definierten Richtung sind.

- 5 Hinsichtlich weiterer Details zu dem mit der erläuterten Plasmaätzanlage 5 durchgeführten Ätzverfahren sowie weiteren Einzelheiten zu der Plasmaätzanlage 5, die über das Vorsehen mindestens zweier Magnetfeldspulen mit den erläuterten Amplituden, Richtungen und Orientierungen der Teilmagnetfelder
- 10 sowie der erläuterten Anordnung des Substrates 10 bzw. der Substratelektrode 11 in dem Reaktor 15 hinausgehen, sei auf die Anmeldung DE 199 00 841 A1 verwiesen.



5

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ätzen eines Substrates, insbesondere  
10 eines Siliziumkörpers, mittels eines induktiv gekoppelten  
Plasmas, mit einer ICP-Quelle zum Generieren eines hochfre-  
quenten elektromagnetischen Wechselfeldes und einem Reaktor  
zum Erzeugen des induktiv gekoppelten Plasmas aus reaktiven  
15 Teilchen durch Einwirken des hochfrequenten elektromagheti-  
schen Wechselfeldes auf ein Reaktivgas, wobei ein erstes  
Mittel vorgesehen ist, das zwischen dem Substrat und der  
ICP-Quelle ein statisches oder zeitlich variierendes Magnet-  
feld erzeugt, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Mittel  
mindestens zwei übereinander angeordnete Magnetfeldspulen  
20 (21, 21') aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Magnetfeldspulen (21, 21') den Reaktor (15) zumin-  
dest bereichsweise zwischen der ICP-Quelle (13) und dem Sub-  
25 strat (10) umgeben.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Wand des Reaktors (15) zumindest bereichsweise von  
einem oder mehreren, den Magnetfeldspulen (21, 21') zugeord-  
30 neten Distanzstücken (22, 22') gebildet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass mindestens eines der von den Magnetfeldspulen (21, 21')  
jeweils erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) über eine

Stromversorgungseinheit (23) zeitlich variierbar, insbesondere pulsbar, ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei der Magnetfeldspulen (21, 21') von entgegengesetzt gerichteten elektrischen Strömen durchflossen sind.

6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit den Magnetfeldspulen (21, 21') ein statisches oder periodisch variierendes, insbesondere gepulstes Magnetfeld erzeugbar ist, dessen Richtung zumindest näherungsweise parallel zu der durch die Verbindungslinie von Substrat (10) und induktiv gekoppeltem Plasma (14) definierten Richtung ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (10) insbesondere symmetrisch zwischen den Magnetfeldspulen (21, 21') angeordnet ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (10) in einem unteren Bereich oder Ausgangsbereich der dem Plasma (14) abgewandten Magnetfeldspule (21), insbesondere noch innerhalb des von der zweiten Magnetfeldspule (21) definierten Raumes, angeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (10) insbesondere mit einer damit in Verbindung stehenden Substratelektrode (11) derart angeordnet ist, dass es dem Teilmagnetfeld ( $-\vec{B}'$ ) der dem Plasma (14) abgewandten Magnetfeldspule (21) ausgesetzt ist.

10. Verfahren zum Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, mit einer Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei bei dem Ätzen mit den Magnetfeldspulen ein statisches oder periodisch variierendes, insbesondere gepulstes Magnetfeld erzeugt wird, dessen Richtung zumindest näherungsweise parallel zu der durch die Verbindungslinie von Substrat und induktiv gekoppeltem Plasma definierten Richtung ist, dadurch gekennzeichnet, dass mit einer ersten Magnetfeldspule (21') ein erstes Teilmagnetfeld ( $\vec{B}$ ) und mit einer zweiten Magnetfeldspule (21) ein zweites Teilmagnetfeld ( $-\vec{B}'$ ) erzeugt wird, die einander entgegen gerichtet sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10 dadurch gekennzeichnet, dass die erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}, -\vec{B}'$ ) insbesondere hinsichtlich der Amplitude der Feldstärke an einem äquivalenten Ort gleich stark sind.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die von der ersten und der zweiten Magnetfeldspule (21, 21') erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}, -\vec{B}'$ ) jeweils mit einer Amplitude der Feldstärke im Inneren des Reaktors (15) zwischen 1 mT und 100 mT, insbesondere 1 mT bis 5 mT, erzeugt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die von der ersten und der zweiten Magnetfeldspule (21, 21') erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}, -\vec{B}'$ ) jeweils im Inneren des Reaktors (15) in einer Umgebung der Reaktorwand (50) mit einer Amplitude der Feldstärke zwischen 10 mT und 100 mT, insbesondere 10 mT bis 30 mT, erzeugt werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass über mindestens eine Stromversorgungseinheit (23) mindestens eines der von den Magnetfeldspulen (21, 21') erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) als gepulstes Teilmagnetfeld erzeugt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetfeld oder die Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) mit einer Frequenz von 10 Hz bis 20 kHz gepulst werden, wobei ein Puls-Pause-Verhältnis von 1:1 bis 1:100 eingestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulsen mit einem Pulsen der eingekoppelten Plasmaleistung und/oder einem Pulsen der über den Substratspannungsgenerator (12) in das Substrat (10) eingekoppelten Hochfrequenzleistung zeitlich korreliert oder synchronisiert wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die von den Magnetfeldspulen (21, 21') jeweils erzeugten Teilmagnetfelder ( $\vec{B}$ ,  $-\vec{B}'$ ) simultan und synchron zueinander gepulst werden, und dass dieses Pulsen synchron mit der in das Substrat (10) eingekoppelten Hochfrequenzleistung erfolgt.

1 / 1

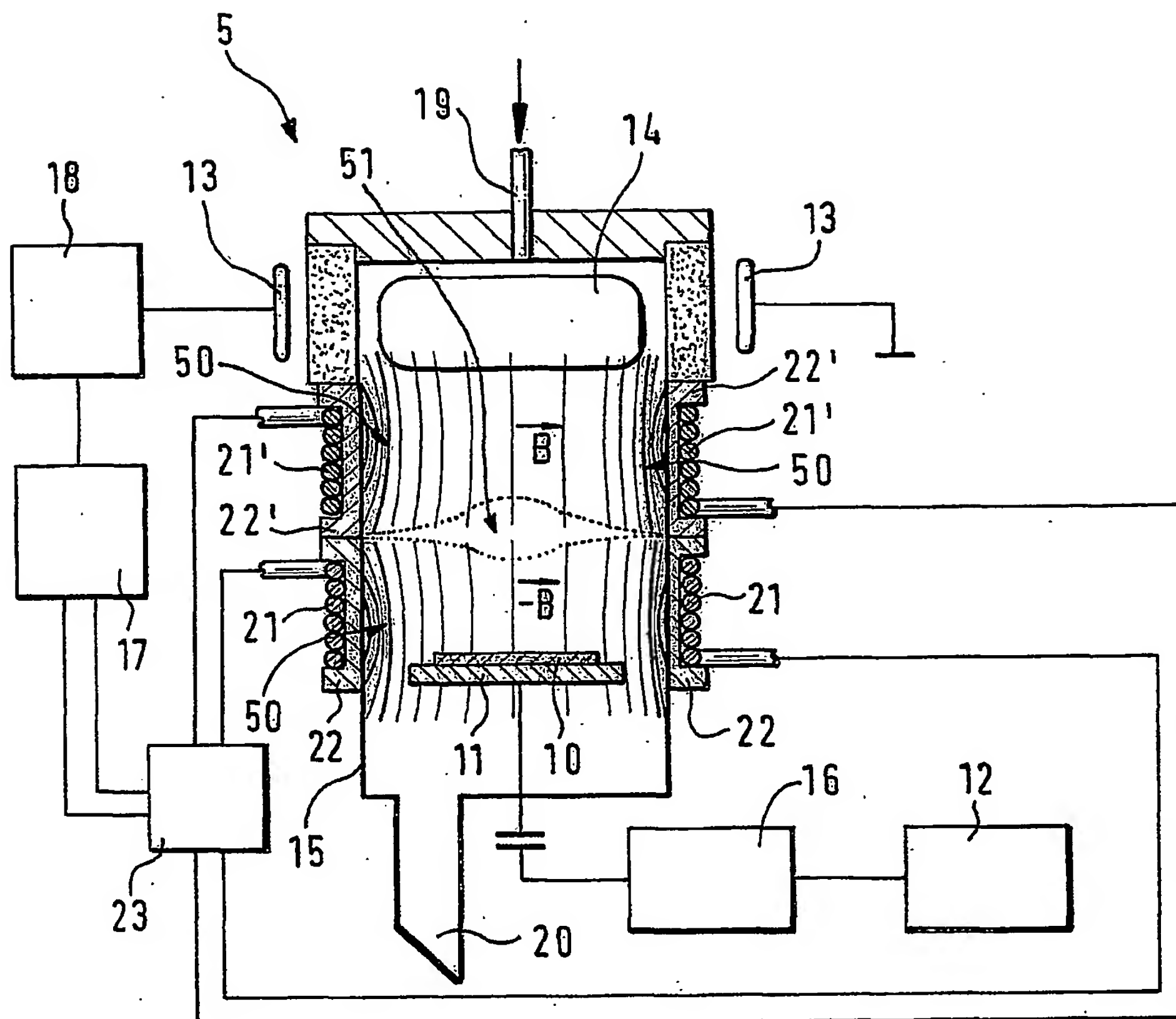


Fig. 1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 01/01031

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01J37/32 H01L21/3065

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 085 688 A (LOEWENHARDT PETER ET AL) 11 July 2000 (2000-07-11) the whole document ----	1,2,4,6, 8
X A	US 6 022 460 A (KIM CHUL HO ET AL) 8 February 2000 (2000-02-08) the whole document ----	1,4,6,7 10
X	US 5 146 137 A (KRETSCHMER KARL-HEINZ ET AL) 8 September 1992 (1992-09-08) figure 3 ----	1-3,6,8
A	US 5 344 536 A (OBUCHI KAZUTO ET AL) 6 September 1994 (1994-09-06) abstract ----- -/-	10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 August 2001

Date of mailing of the international search report

16/08/2001

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Szarowski, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 01/01031

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 459 (E-832), 17 October 1989 (1989-10-17) &amp; JP 01 179324 A (HITACHI LTD), 17 July 1989 (1989-07-17) abstract</p> <p>-----</p>	10



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/DE 01/01031

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6085688 A	11-07-2000	EP 1064672 A WO 9950883 A US 6247425 B	03-01-2001 07-10-1999 19-06-2001
US 6022460 A	08-02-2000	JP 3097957 B JP 2000215999 A	10-10-2000 04-08-2000
US 5146137 A	08-09-1992	DE 3942964 A DE 59010049 D EP 0434932 A JP 4167400 A KR 141592 B	27-06-1991 22-02-1996 03-07-1991 15-06-1992 01-07-1998
US 5344536 A	06-09-1994	JP 5160073 A	25-06-1993
JP 01179324 A	17-07-1989	JP 2515833 B	10-07-1996

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/01031A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 : H01J37/32 H01L21/3065

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 085 688 A (LOEWENHARDT PETER ET AL) 11. Juli 2000 (2000-07-11) das ganze Dokument	1,2,4,6, 8
X	US 6 022 460 A (KIM CHUL HO ET AL) 8. Februar 2000 (2000-02-08) das ganze Dokument	1,4,6,7 10
A	US 5 146 137 A (KRETSCHMER KARL-HEINZ ET AL) 8. September 1992 (1992-09-08) Abbildung 3	1-3,6,8
A	US 5 344 536 A (OBUCHI KAZUTO ET AL) 6. September 1994 (1994-09-06) Zusammenfassung	10
	--- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. August 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/08/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Szarowski, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/01031

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 459 (E-832), 17. Oktober 1989 (1989-10-17) &amp; JP 01 179324 A (HITACHI LTD), 17. Juli 1989 (1989-07-17) Zusammenfassung -----</p>	10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/01031

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6085688 A	11-07-2000	EP 1064672 A WO 9950883 A US 6247425 B	03-01-2001 07-10-1999 19-06-2001
US 6022460 A	08-02-2000	JP 3097957 B JP 2000215999 A	10-10-2000 04-08-2000
US 5146137 A	08-09-1992	DE 3942964 A DE 59010049 D EP 0434932 A JP 4167400 A KR 141592 B	27-06-1991 22-02-1996 03-07-1991 15-06-1992 01-07-1998
US 5344536 A	06-09-1994	JP 5160073 A	25-06-1993
JP 01179324 A	17-07-1989	JP 2515833 B	10-07-1996